

24 45 532**FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY****GERMAN PATENT OFFICE****Disclosure Document 24 45 532**

File number:	P 24 45 532.1-51
Application date:	September 20, 1974
Disclosure date:	-
Publication date:	January 8, 1976

Union priority

Title:	Wave-like enclosed optical fiber
Applicant:	AEG-Telefunken Kabelwerke AG, Rheydt, 4050 Mönchengladbach
Inventor:	Dr.rer.nat., Hermann Franke, 4051 Korschenbroich; Willi Kückes, 5144 Wegberg Dipl.-Ing. Wolfgang Martin, 4070 Rheydt

The following documents were used as reference for the evaluation of patentability:

Marcuse: Light Transmission Optics, 1972

Kao. 9.6

Bell System Technical Journal, Vol. 53, No. 6,

p. 1079

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Patent Claims:

1. Optical fiber, especially optical glass fiber conductor for an optical fiber cable, with a surrounding protective enclosure, characterized by the optical fiber (1) being located in a hollow tube-like protective enclosure (2) in basically regular segments adjacent to inner tube wall waves in such a wavelength, that the wave-based radiation losses are minimal compared to the fiber-specific attenuation losses.

2. Optical fiber according to claim 1, characterized by the waves running only in one level.

3. Optical fiber according to claim 1, characterized by waves running in several levels.

4. Optical fiber according to claim 1, characterized by its periodically regular waves.

5. Optical fiber according to claim 1, characterized by being fastened in the hollow protective enclosure (2) continuously or in segments in its wave-like form.

6. Optical fiber according to claim 5, characterized by being fastened to a known band-like support inserted into the protective enclosure (2).

7. Optical fiber according to claim 6, characterized by being fastened on the band-like support (3) by means of punched-out lashes (4).

8. Optical fiber according to claim 6, characterized by being fastened to the band-like support (3) by a U-shaped bracket inserted in segments into slits.

9. Optical fiber according to claim 5, characterized by being fastened in the protective enclosure (2) by cams (5) attached to the inner wall in segments preferably as pairs.

10. Optical fiber according to claim 5, characterized by being fastened by foamed material (6) injected into the protective enclosure (2) in segments through holes (7) in its wall.

11. Optical fiber according to claim 5, characterized by being fastened in the protective enclosure (2) by disks (8) periodically attached to it showing eccentric notches (9).

12. Process for the manufacture of a wave-like enclosed optical fiber according to claim 1, characterized by the prefabricated optical fiber not yet in the wave-like state payed-off a storage spool (11) over a tension adjuster being inserted into an extruder head (16) producing the hollow tube-like protective enclosure (2) with wave formation by means of an insertion device (13) pivoting back and forth and finally being payed-off continuously together with it.

telecommunications transmission has led to the use of glass fibers or glass filaments – in any case long, thin, bendable, man-made formations of glass, as light waveguides. The advancements in the technology of low-loss glass and quartz have led to the development of optical fiber with unlimited length after optical fibers with limited length such as f.e. for endoscopes and transmission- and amplification devices, such as in cable form, as so-called light – or rather light conductor cables. Besides blank light conductors there are so-called jacketed light conductors, where an individual or a bundle of several cylindrical light-transmitting electrical bodies, preferably made of glass, is embedded into an enclosing medium with another optical refractive index, where the possible total reflection under certain refractive index conditions at the border between media with different refractive indices can be exploited. In transmission technology differences between single-mode and multimode optical fibers are observed.

It has also been known for a long time to surround optical glass fibers individually or several together independent of their own design with a flexible protective enclosure or to fasten or glue, respectively, them at least to an additional, preferably band-like support or between two such supports.

In both ways mechanical damages to the optical fibers should be prevented, which, as known, have a high breaking resistance, but not sufficient shearing resistance. Thermoplastic materials such as polyethylene, polyester, polyamide or polyacrylate have been considered for the protective enclosure. In addition lacquered woven tubes or woven tubes saturated with resins and then cured are also known.

Besides the dense application of the outer – also multi-layer – protective enclosures to one or more optical fibers, protective enclosures with hollow spaces around the optical fibers, especially with interior, cam-like protrusions of the protective enclosures providing intervals or with additional individual or multiple interval fiber coils between the optical fiber and the protective enclosure, which is smooth on the inside. To the known hollow space design forms belong also the continuous enclosure of an optical fiber with a cell-polyethylene layer pressed around it and the arrangement without hollow space of several optical fibers between the arms of a plastic central element with a star profile and surrounded by an outer plastic enclosure.

With all these numerous known designs the optical fibers are arranged in a mostly linear way within their protective enclosures and/or on their additional supports. This arrangement is based on the effort to avoid bending of an optical fiber in an optical fiber cable as much as possible in order to decrease the transmission attenuation, although it is known on the other hand, that depending on the optical fiber lengths used for the transmission bending above certain bending radii in the magnitude of centimeters are not detrimental.

The theoretically long known use of guided light for telecommunications transmission in addition or substitution of electrical

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Proceeding from this state-of-the-art technology, the invention is based on the recognition that presently known designs of optical fibers and especially glass optical fibers are not satisfactory and thus the invention's objective is the search for a better design, where the optical fibers are on one hand free of mechanical stresses and on the other hand protected against outside forces during manufacture, installation and operation of optical fiber cables.

To achieve this multi-faceted objective the invention proposes that the optical fiber is arranged in a hollow tube-like protective enclosure in waves principally in regular intervals abutting the inner tube wall in such a wavelength, that the wave-based radiation losses are minimal compared to the other fiber specific attenuation losses.

The optical fibers should not, as was the goal until now, be arranged in the protective enclosure in a straight line, but f.e. in winding forming sine waves within the hollow space surrounded by the tube-like protective enclosure. With a wave running in a single level only the peaks of the optical fibers abut the inner wall of the protective enclosure. It is, however, possible to wave the optical fibers in several levels and to design the waving in regular periodic intervals. Between the wavy segments non-wavy or segments waved in another level can be located there.

The smallest wavelength or macro-bending, respectively, or, expressed in a different way, the bending radii of the waves of the optical fiber according to the invention necessary to ensure minimal losses in transmission technology versus the fiber-specific losses (f.e. due to micro-bending, non-homogenous characteristics or material-based) can be deducted from two publications by Dietrich Marcuse, where he dealt theoretically with the radiation losses due to bending of an optical fiber, namely in chapter 9, especially p. 406 of the book "Light Transmission Optics" published in 1972 by the publisher Van Nostrand Reinhold Company, New York and in the essay "Bent Optical Waveguide with Lossy Jacket" in Vol. 53, No. 6, p. 1079 ff from the Bell System Journal. In these works the attempt is made to calculate the amount of the radiation losses due to bending of an optical fiber by using R for the bending radius, d for the fiber core radius (or half the width of the conductor strip) and D for the fiber jacket inner radius and the formula R/d or reciprocally d/R . No conclusions were drawn, that the objective to avoid deformations or elongations detrimental to transmission quality by a deliberate continuous waving can be achieved.

The calculated derivation or recalculation, respectively, using the work of Marcuse shows that the bending-related radiation losses versus the fiber-specific attenuation losses remain minimal when the relation between the fiber jacket radius D and the fiber core radius d according to the formula $(D-d)$ is the same as or preferably greater than 3

(i.e. as large as possible), and the ratio of fiber core radius d to bending radius R according to d/R is equal or preferably smaller than 10^{-10} (i.e. as small as possible).

Some numerical examples will clarify these conditions. For commonly used fibers with a core radius d between 10 and 15 μm and with a jacket inner radius D between 60 and 100 μm values between 3 and 9 result for the formula $(D-d)/d$. Proceeding from a fiber core radius d of 10 μm , the bending radius R has to be greater than 10 mm for the ratio to be smaller than 10^{-3} . This means that the wavelength of the wave provided in the invention has to be in the order of centimeters in view of the small dimensions possible for the optical fibers. In general it can be said that the radiation losses for increasing $(D-d)/d$ with a constant d/R move towards increasingly smaller values. The bending-related radiation losses for the given numerical values are significantly below 1 dB/km. Considering the refractive index values, usable optical fiber cables with total losses in the range of 2 to 3 dB/km can be produced, against which the bending-related radiation losses are significantly below 1 dB/km due to the waves.

A preferred design of the invention consists in the fact, that the optical fibers in the wave-like form are fastened in the hollow tube-like protective enclosure continuously or in intervals. With continuous fastening, the optical fibers can be, as mentioned before, fastened on known band-like supports, which have approximately the same width as the tube inner diameter. The fastening of the wave-like optical fibers in intervals can occur by means of cams, bumps or such, pressed into the protective enclosure tube or, as mentioned before, formed on its inner wall in a known manner by means of foamed material injected through holes into the protective enclosure tube with limited length or by means of slit small disks.

The technical advancement achieved by the invention in the manufacture and operation of optical fiber cables consists above all in the fact, that the optical fibers can yield to mechanical stresses occurring within them or to outside forces affecting them due to their wavy form, without being too loose in the protective enclosure in danger of oscillation. The size of the elongation of the optical fibers dependent on the chosen waveform is in view of their minimum transmission attenuation no disadvantage to the achieved advancement of increased security. This also applies to the expenditure for technical apparatus for the production of the waving. Another advancement resulting from the invention is found in the cable technology processing of any quantity of optical fibers into optical fiber cables by stranding of pairs, quads, bundles or layers, together with known electrical transmission- and supply lines and their common jacketing and armoring. The wave-like optical fibers according to the invention are capable to yield in their protective enclosures to all stresses, especially during further cable technology processing without damages and especially without danger of breaking.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Several design samples of the invention are depicted in schematic form in the diagrams without limiting the invention to those design samples. Shown is in:

Fig. 1 an arrangement for wave-like insertion of an optical fiber into a protective enclosure,

Fig. 2 a fastening of a wave-like optical fiber onto a support band,

Fig. 3 a fastening of a wave-like optical fiber by means of cams pressed in intervals as pairs from the protective enclosure to the interior,

Fig. 4 a fastening of a wave-like optical fiber by means of foamed material inserted in intervals through holes in the protective enclosure,

Fig. 5 fastening by means of small slit disks attached in intervals onto a wavy optical fiber.

In all figures 1 designates the wavy optical fiber and 2 the hollow tube-like protective enclosure, which can f.e. consist of polyethylene or other thermoplastic materials. In Fig. 1 the end pay-off, which is formed in the usual way and is working continuously is eliminated.

In Fig. 1 the prefabricated optical fiber, which is not yet wavy, runs from a storage spool 11 over a channel regulator 12 to an insertion device, which is swiveling around a rotation point near the axis of the arrangement, which contains a caterpillar take-up 14 and a guide tube 15. In place of the caterpillar take-up, another non-swiveling wheel take-up or disk take-up can be used and only the guide tube 15 swivels. The take-up and the swiveling interpolation and wave-like insertion of the optical fiber 1 is accomplished into a protective enclosure 2 produced in the usual way by means of an extruder head with a center sleeve. By means of a vacuum pump 17 the protective enclosure 2 is deterred from collapsing in its still warm state. All movements of the total arrangement run synchronously. Additional rotating movement of the swiveling insertion device 13 can achieve the waving in more than one level.

In Fig. 2 the optical fiber 1 perceived wave-like in the same of similar way is fastened to a prefabricated plastic band 3, which supports it, by means of plates 4 punched out of the band. The plates 4 should be located transverse to the band longitudinal axis and preferably parallel to each configured middle piece of the wave of the optical fiber 1. They can also be bent around it or show a saw tooth form, which amplifies the fastening of the optical fiber 1 to the support band, over their total width or at least of their edges. In place of punched out plates,

U-shaped brackets inserted into slits in the support band, with saw tooth formation of their sidepieces can be used for fastening the optical fiber 1. The support band 3 with the optical fiber 1 fastened to it then runs into the protective enclosure 2 synchronous to the support movement in the same or similar way produced continuously as shown in Fig. 1. It is advisable to make the support band 3 smaller than the inner diameter of the protective enclosure 2.

In Fig. 3 the optical fiber 1 inserted in the same or similar way into the protective enclosure 2 in wavy form is fastened in it at its inner wall at cams 5 located at its inner wall in intervals. These small cams protruding into the interior abut like bulge-like protrusions to all or at least sufficiently many of the wave peaks of the optical fiber 1. They can be produced by pressure punches working synchronously to other movements and, if necessary, heated, by pressing into the just produced still malleable protective enclosure 2 from the outside.

In Fig. 4 foamed materials 6 serve for the fastening of the optical fiber 1 within the protective enclosure 2, which are inserted through holes 7 into the protective enclosure 2 in regular intervals opposite each wave peak. The insertion occurs preferable by injection; it is, however, possible to press prefabricated spring-like plug-formed foamed material through the holes.

Polyurethane can be used for a foamed material, which can be injected and which then can be hardened by swelling up with cell formation and thus can fasten an opposite peak of the optical fiber in the vicinity of a hole. The outer form of the foamed material 6 is shown in Fig. 4 only as a sample of possible variations. The number and sequence of the foamed material in the wave train as well as its production from only one side or from several sides is also variable.

Fig. 5 is different from Fig. 1 due to the additional periodic attachment of small disks 8, which are prefabricated and provided with eccentric notches 9. They can consist of a thermoplastic material, f.e. a foamed material. Between each of the successive disks 8 one or more uneven half waves of the optical fiber 1 can be located. The disks 8, whose slits or notches 9, respectively, can lie diagonal to the course of the optical fiber should be arranged in such a way, that the direction of the notches 9 alternates. The disk arrangement in Fig. 5 is only one of several possible variations. Devices for application of disks onto wires are well known.

One page of diagrams is attached

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Auslegeschrift 24 45 532

⑪

⑫

⑬

⑭

⑮

Aktenzeichen: P 24 45 532.1-51

Anmeldetag: 20. 9. 74

Offenlegungstag: —

Bekanntmachungstag: 8. 1. 76

③①

Unionspriorität:

③②

③③

③④

⑤④

Bezeichnung:

Gewellter umhüllter Faserlichtleiter

⑦①

Anmelder:

AEG-Telefunken Kabelwerke AG, Rheydt, 4050 Mönchengladbach

⑦②

Erfinder:

Franke, Hermann, Dr.rer.nat., 4051 Korschenbroich; Kückes, Willi,
5144 Wegberg; Martin, Wolfgang, Dipl.-Ing., 4070 Rheydt

⑤⑤

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

Marcuse: Light Transmission Optics, 1972,

Kao. 9.6

Bell System Technical Journal, Vol. 53, Nr. 6,

S. 1079

Patentansprüche:

1. Faserlichtleiter, insbesondere Glasfaserlichtleiter für ein Lichtleitkabel, mit ihm umgebender Schutzhülle, dadurch gekennzeichnet, daß der Faserlichtleiter (1) in einer hohlen rohrförmigen Schutzhülle (2) in im Prinzip regelmäßigen, an der inneren Rohrwandung in Abständen anliegenden Wellung von solcher Wellenlänge angeordnet ist, daß die wellungsbedingten Abstrahlungsverluste gegenüber den faserspezifischen Dämpfungsverlusten vernachlässigbar klein sind.

2. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seine nur in einer einzigen Ebene verlaufende Wellung.

3. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seine in mehreren Ebenen verlaufende Wellung.

4. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seine nur periodisch regelmäßige Wellung.

5. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er in seiner gewellten Form in der hohlen rohrförmigen Schutzhülle (2) fortlaufend oder in Abständen zusätzlich festgelegt ist.

6. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er auf einem in die Schutzhülle (2) eingebrachten an sich bekannten bandförmigen Träger (3) befestigt ist.

7. Faserlichtleiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß er auf dem bandförmigen Träger (3) mittels in Abständen aus ihm ausgestanzter Laschen (4) befestigt ist.

8. Faserlichtleiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß er auf dem bandförmigen Träger (3) mittels in Abständen in Schlitze in ihn eingesteckter U-förmiger Bügel befestigt ist.

9. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er in der Schutzhülle (2) mit an ihrer Innenwandung in Abständen vorzugsweise paarweise angebrachter Nocken (5) festgelegt ist.

10. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er mit in die Schutzhülle (2) in Abständen durch Löcher (7) in ihrer Wandung eingebrachte Schaumstoffkörper (6) festgelegt ist.

11. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er durch zusätzliche periodisch auf ihn aufgesteckte mit exzentrischen Kerben (9) versehene Scheiben (8) in der Schutzhülle (2) festgelegt ist.

12. Verfahren zur Herstellung eines gewellten umhüllten Faserlichtleiters nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der in noch nicht gewelltem Zustand von einer Vorratsspule (11) über einen Durchhangregler (12) ablaufende vorgefertigte Faserlichtleiter (1) mittels eines um einen Drehpunkt hin- und herschwenkenden Verlegegerätes (13) unter Wellenbildung in einen die hohle rohrförmige Schutzhülle (2) erzeugenden Extruderspritzkopf (16) eingeschoben und schließlich mit ihr zusammen kontinuierlich abgezogen wird.

Nachrichtenübertragungstechnik hat dahin geführt, daß neben anderen festen und flüssigen Stoffen vorzugsweise Glasfasern oder Glasfäden — jedenfalls lange dünne biegsame künstlich erzeugte Gebilde aus Glas — als Lichtleiter benutzt werden. Die Fortschritte in der Technologie verlustarmer Gläser und Quarze haben weiter dahin geführt, daß nach Lichtleitern begrenzter Länge wie z. B. für Endoskope und Übertragungs- und Verstärkungsgeräte auch Lichtleiter unbegrenzter Länge, z. B. in Kabelform, als sogenannte Licht- oder besser gesagt Lichtleitkabel entwickelt werden. Dabei gibt es neben blanken auch sogenannte ummantelte Lichtleiter, bei denen ein einzelner oder ein Bündel von mehreren zylindrischen lichtdurchlässigen dielektrischen Körpern, vorzugsweise aus Glas, in ein umhüllendes Medium mit einer anderen optischen Brechzahl eingebettet ist, wobei die bei bestimmten Brechzahlverhältnissen mögliche Totalreflexion an der Grenze zwischen Medien verschiedener Brechzahl ausgenutzt werden kann. In übertragungstechnischer Hinsicht wird noch zwischen Monomode- und Multimode-Lichtleitern unterschieden.

Es ist ferner schon seit langem bekannt, Glasfaserlichtleiter unabhängig von ihrem eigenen Aufbau einzeln oder zu mehreren gemeinsam mit einer äußeren flexiblen Schutzhülle zu umgeben oder sie wenigstens auf einem zusätzlichen vorzugsweise bandförmigen Träger oder auch zwischen zwei solchen Trägern zu befestigen, insbesondere aufzukleben.

Auf beiden Wegen soll mechanischen Beschädigungen der Glasfaserlichtleiter vorgebeugt werden, die zwar, wie bekannt, eine hohe Zerreißfestigkeit, aber nicht ausreichende Scherfestigkeit aufweisen. Als Schutzhülle und auch als Trägerbänder sind vor allem solche thermoplastischen Kunststoffe wie Polyäthylene, Polyester, Polyamide oder auch Polyacrylate in Betracht gezogen worden. Daneben sind für Schutzhüllen auch lackierte oder mit Harz getränkte und dann ausgehärtete Gewebesläuche bekannt.

Neben der dichten Auflegung der äußeren — auch mehrschichtigen — Schutzhüllen auf den oder die Glasfaserlichtleiter sind auch Hohlräume um sie belassende Schutzhüllen bekannt, insbesondere mit Abstand schaffenden inneren, z. B. nockenartigen, Vorsprüngen der Schutzhüllen oder mit zusätzlichen einfachen oder auch mehrfachen Abstandfadenwendeln zwischen dem Glasfaserlichtleiter und der dann innen glatten Schutzhülle. Zu den bekannten Hohlraumbauformen gehören ferner auch die fortlaufende Umhüllung eines Glasfaserlichtleiters mit einer um ihn herum ausgepreßten Zellpolyäthylenschicht und die Hohlräume belassende Anordnung von mehreren Glasfaserlichtleitern zwischen den Armen eines sternförmig profilierten zentralen und von einer äußeren Kunststoffhülle umgebenen Kunststoffkerns.

Bei allen diesen zahlreichen bekannten Bauformen sind die Glasfaserlichtleiter möglichst gerade gestreckt innerhalb ihrer Schutzhüllen und/oder auf ihren zusätzlichen Trägern angeordnet. Diese Anordnung beruht offensichtlich auf dem Bemühen, Krümmungen der Glasfaserlichtleiter in einem Lichtleitkabel möglichst zu vermeiden, um auf diese Weise die Übertragungsdämpfung zu verringern, obwohl es auf der anderen Seite bekannt ist, daß in Abhängigkeit von den bei der Übertragung benutzten Lichtwellenlängen Krümmungen oberhalb bestimmter, in der Größenordnung von Zentimetern liegender Krümmungsradien für

Bauformen von Faserlichtleitern und insbesondere Glasfaserlichtleitern nicht befriedigen und sich daraus die Aufgabe der Erfindung als Suche nach einer solchen besseren Bauform ergibt, bei der die Faserlichtleiter einerseits möglichst frei von mechanischen Spannungen und andererseits möglichst geschützt gegen von außen auftretende Kräfte bei der Herstellung, Verlegung und beim Betrieb von Lichtleitkabeln sind.

Zur Lösung dieser mehrschichtigen Aufgabe wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß der Faserlichtleiter in einer hohlen rohrförmigen Schutzhülle in im Prinzip regelmäßigen an der inneren Rohrwandung in Abständen anliegenden Wellen von solcher Wellenlänge angeordnet ist, daß die wellungsbedingten Abstrahlungsverluste gegenüber den sonstigen faserspezifischen Dämpfungsverlusten vernachlässigbar klein sind.

Der Faserlichtleiter soll somit nicht mehr wie bisher allgemein angestrebt möglichst gerade gestreckt in seiner Schutzhülle liegen, sondern in z. B. Sinuswellen bildenden Windungen innerhalb des von der rohrförmigen Schutzhülle umschlossenen Hohlraumes. Bei einer nur in einer einzigen Ebene verlaufenden Wellung liegen nur die Wellenberge des Faserlichtleiters an der inneren Rohrwandung der Schutzhülle an. Es ist jedoch auch möglich, den Faserlichtleiter in mehreren Ebenen zu wellen und ferner die Wellung nur periodisch regelmäßig zu gestalten. Zwischen gewellten Abschnitten können somit auch ungewellte oder in einer anderen Ebene gewellte Abschnitte liegen.

Wie klein die Wellenlängen bzw. Makrobiegungen oder, anders ausgedrückt, die Krümmungsradien der Wellenzüge des Faserlichtleiters gemäß der Erfindung sein dürfen, um Übertragungstechnisch gegenüber den sonstigen faserspezifischen (d. h. beispielsweise durch Mikrobiegungen, Inhomogenitäten oder die Werkstoffe bedingten) Verlusten vernachlässigbar klein zu sein, läßt sich aus zwei vorveröffentlichten Arbeiten von Dietrich Marcuse ableiten, in denen er sich mit den durch Biegungen eines Faserlichtleiters bedingten Abstrahlungsverlusten theoretisch beschäftigt hat, nämlich im Kapitel 9.6, insbesondere S. 406, des 1972 erschienenen Buches »Light Transmission Optics« im Verlag Van Nostrand Reinhold Company, New York, und in dem 1974 erschienenen Aufsatz »Bent Optical Waveguide With Lossy Jacket« in Vol. 53, Nr. 6, S. 1079 ff., von The Bell System Technical Journal. In diesen Arbeiten ist zwar der Versuch unternommen, die Größe der durch Biegungen eines Faserlichtleiters bedingten Abstrahlungsverluste unter Benutzung der Größen R für den Krümmungsradius, d für den Faserkernradius (bzw. die halbe Breite eines Streifenleiters) und D für den Fasermantelinnenradius und des Verhältnisses R/d bzw. D/d zu berechnen. Es ist jedoch keine Folgerung in der Richtung gezogen worden, daß mit einer bewußt gewollten fortlaufenden Wellung die Aufgabe gelöst werden kann, durch mechanische Spannungen bedingte oder hervorgerufene, für die Übertragungsgüte ebenfalls schädliche Verformungen oder Verdrehungen des Faserlichtleiters zu vermeiden.

Die rechnerische Ableitung bzw. Nachrechnung an Hand der Arbeiten von Marcuse ergibt, daß die bieguingsbedingten Abstrahlungsverluste dann gegenüber den faserspezifischen Dämpfungsverlusten vernachlässigbar klein bleiben, wenn die Relation zwischen Fasermantelradius D und Faserkernradius d nach der Formel $(D-d)/d$ gleich oder vorzugsweise größer als 3

Faserkernradius d zu Krümmungsradius R gemäß d/R gleich oder vorzugsweise kleiner als 10^{-3} (d. h. möglichst klein) ist.

Einige Zahlenbeispiele sollen diese Bedingungen erläutern. Für handelsübliche Fasern mit einem Kernradius d zwischen 10 und 15 μm und bei einem Mantelinnenradius D zwischen 60 und 100 μm ergeben sich einerseits für die Relation $(D-d)/d$ Werte zwischen 3 und 9. Wenn man andererseits von einem Faserkernradius d von 10 μm ausgeht, muß der Krümmungsradius R größer als 10 mm sein, damit das Verhältnis d/R kleiner als 10^{-3} ist. Das bedeutet, daß die Wellenlänge der erfindungsgemäß vorgesehenen Wellung in Anbetracht der bei Faserlichtleitern möglichen kleinen Dimensionen in Zentimetergrößenordnung liegen kann. Allgemein gilt, daß sich die Abstrahlungsverluste für steigendes $(D-d)/d$ bei konstantem d/R zu immer kleineren Werten verschieben. Die bieguingsbedingten Abstrahlungsverluste liegen bei den angegebenen Zahlenwerten wesentlich unter 1 dB/km. Bei Berücksichtigung der realisierbaren Brechungsindexwerte lassen sich brauchbare Lichtleitkabel mit Gesamtverlusten in der Gegend von 2 bis 3 dB/km herstellen, denen gegenüber die bieguingsbedingten Abstrahlungsverluste infolge der Wellung tatsächlich vernachlässigbar klein sind, weil sie wesentlich unter 1 dB/km liegen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß die Faserlichtleiter in ihrer gewellten Form in der hohlen rohrförmigen Schutzhülle fortlaufend oder in Abständen zusätzlich festgelegt sind. Bei fortlaufender Festlegung können die Faserlichtleiter z. B. auf, wie zuvor erwähnt, an sich bekannten bandförmigen Trägern befestigt sein, die ungefähr so breit sind wie die Rohrrinnendurchmesser. Die Festlegung der gewellten Faserlichtleiter in Abständen kann z. B. mittels in das Schutzhüllenrohr eingedrückter oder an seiner Innenwandung in, wie zuvor erwähnt, an sich bekannter Weise ausgeformter Nocken, Beulen od. dgl., mittels durch Löcher in das Schutzhüllenrohr eingebrachter Schaumstoffkörper begrenzter Länge oder mittels geschlitzter schmaler Scheiben erfolgen.

Der mit der Erfindung bei der Herstellung und Verlegung und beim Betrieb von Lichtleitkabeln erzielte technische Fortschritt besteht vor allem darin, daß die Faserlichtleiter in ihnen selbst auftretenden mechanischen Spannungen oder von außen einwirkenden Kräften infolge ihrer Wellenform elastisch federnd nachgeben können, ohne schwingungsgefährdet zu locker in der Schutzhülle zu liegen. Die in ihrer Größe von der gewählten Wellenform abhängige Verlängerung der Faserlichtleiter ist in Anbetracht ihrer minimalen Übertragungsdämpfung kein den erzielten Fortschritt größerer Sicherheit beeinträchtigender Nachteil. Das gilt auch für den bei der Erzeugung der Wellung erforderlichen technischen apparativen Aufwand. Ein weiterer Fortschritt ergibt sich durch die Erfindung bei der in bekannter Weise möglichen kabeltechnischen Verarbeitung einer beliebigen Zahl von gewellten Faserlichtleitern zu Lichtleitkabeln bei der Verseilung zu Paaren, Vierern, Bündeln oder Lagen, auch zusammen mit bekannten elektrischen Übertragungs- und Versorgungsleitungen, und ihrer gemeinsamen äußeren Ummantelung und Armierung. Die erfindungsgemäß gewellten Faserlichtleiter vermögen in ihren Schutzhüllen allen Beanspruchungen insbesondere bei der kabeltechnischen Weiterverarbeitung ohne Beschädigung und vor allem ohne Bruchgefahr nachzu-

geben.

Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in schematischer Form in der Zeichnung dargestellt, ohne daß die Erfindung auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt sein soll. Es zeigt

Fig. 1 eine Anordnung zur wellenförmigen Verlegung eines Faserlichtleiters in einer Schutzhülle,

Fig. 2 eine Befestigung eines gewellten Faserlichtleiters auf einem Trägerband,

Fig. 3 eine Befestigung eines gewellten Faserlichtleiters mittels in Abständen paarweise aus der Schutzhülle nach innen eingedrückter Nocken,

Fig. 4 eine Befestigung eines gewellten Faserlichtleiters mittels in Abständen durch Löcher in der Schutzhülle eingebrachter Schaumstoffkörper,

Fig. 5 eine Befestigung mittels in Abständen auf einen gewellten Faserlichtleiter aufgesteckter geschlitzter schmaler Scheiben.

In allen Figuren bedeutet 1 die gewellte Faserlichtleiter und 2 die hohle rohrförmige Schutzhülle, die z. B. aus Polyäthylen oder einem anderen Thermoplast bestehen kann. In Fig. 1 ist der in üblicher Weise ausgebildete und kontinuierlich arbeitende Endabzug mit der Endabwicklung weggelassen.

In Fig. 1 läuft der noch nicht gewellte vorgefertigte Faserlichtleiter 1 von einer Vorratsspule 11 über einen Durchhangregler 12 zu einem um einen Drehpunkt in Achsennähe der Anordnung hin- und herschwenkenden Verlegegerät 13, das einen Raupenabzug 14 und ein Führungsrohr 15 enthält. An Stelle des Raupenabzugs kann auch ein anderer, z. B. nicht schwenkbarer Räderabzug oder Scheibenabzug verwendet werden und nur das Führungsrohr 15 hin- und herschwenken. Durch Abzug und die Schwenkbewegung wird die Einschiebung und wellenförmige Verlegung des Faserlichtleiters 1 in der in üblicher Weise mittels eines Extruderspritzkopfes 16 mit Pinole erzeugten hohlen Schutzhülle 2 bewirkt. Mittels einer Vakuumanasugung 17 wird die Schutzhülle 2 daran gehindert, im noch verformbaren warmen Zustand zusammenzusinken. Alle Bewegungen der ganzen Anordnung verlaufen synchron. Die Wellung in mehr als einer Ebene kann durch eine zusätzliche drehende Bewegung des hin- und herschwenkenden Verlegegerätes 13 erreicht werden.

In Fig. 2 ist der in gleicher oder ähnlicher Weise gewellt zu denkende Faserlichtleiter 1 auf einem ihn tragenden vorgefertigten Kunststoffband 3 mittels z. B. paarweise aus dem Band ausgestanzter Laschen 4 befestigt. Die Laschen 4 sollen in der Bandmitte quer zur Bandlängsachse und vorzugsweise parallel zum jeweils festzulegenden geraden Mittelstück der Wellung des Faserlichtleiters 1 stehen. Sie können auch um ihn herumgebogen sein oder eine die Fixierung des Leiters 1 auf dem Trägerband 3 verstärkende Sägezahnform über ihre ganze Breite oder mindestens ihrer Ränder aufweisen. An Stelle von ausgestanzten Laschen können

auch in Schlitze im Trägerband 3 z. B. unter Spannung eingesteckte kleine U-förmige Bügel, z. B. auch wieder mit Sägeform ihrer Schenkel, zur Befestigung des Leiters 1 verwendet werden. Das Trägerband 3 mit dem gewellt auf ihm befestigten Leiter 1 läuft dann in die synchron zur Trägerbandbewegung in gleicher oder ähnlicher Weise wie in Fig. 1 kontinuierlich erzeugte Schutzhülle 2 ein. Es empfiehlt sich, das Trägerband 3 etwas schmaler als den Innendurchmesser der Schutzhülle 2 zu wählen.

In Fig. 3 ist der z. B. wieder in gleicher oder ähnlicher Weise in gewellter Form in die Schutzhülle 2 eingebrachte Faserlichtleiter 1 in ihr mit an ihrer Wandung innen in Abständen vorzugsweise ebenfalls paarweise angebrachter Nocken 5 festgelegt. Diese nach innen vorstehenden kleinen Nocken liegen wie beulenartige Vorsprünge an allen oder wenigstens ausreichend vielen Wellenbergen des Leiters 1 an. Sie lassen sich z. B. mit einem oder mehreren synchron zu den anderen Bewegungen im Takt arbeitenden notfalls beheizten Druckstempeln durch deren Eindrückung in die gerade erst erzeugte noch verformbare Schutzhülle 2 von außen her erzeugen.

In Fig. 4 dienen zur Festlegung des Faserlichtleiters 1 in der Schutzhülle 2 Schaumstoffkörper 6, die durch in der Schutzhülle in regelmäßigem Abstand je einem Wellenberg gegenüber angebrachte Löcher 7 eingebracht werden. Das Einbringen erfolgt vorzugsweise durch Einspritzung; es ist jedoch auch möglich, federnde vorgefertigte propfenartige Schaumstoffkörper durch die Löcher hindurch einzudrücken.

Als Schaumstoff eignet sich z. B. ein Polyurethan (PUR), das sich einspritzen und danach unter Zellenbildung aufblähend verfestigen läßt und dabei in der Umgebung eines Loches einen gegenüberliegenden Wellenberg des Faserlichtleiters festlegt. Die äußere Form der Schaumstoffkörper 6 ist in Fig. 4 nur als ein Beispiel möglicher Varianten dargestellt. Auch die Anzahl und Reihenfolge der Schaumstoffkörper in dem Wellenzug sowie ihre Erzeugung nur von einer Seite oder von mehreren Seiten her sind variabel.

Fig. 5 unterscheidet sich von Fig. 1 durch die zusätzliche periodische Aufsteckung von schmalen Scheiben 8, die mit exzentrisch in ihnen angebrachten Kerben 9 versehen und z. B. vorgefertigt sind. Sie können aus einem Thermoplast, z. B. auch wieder aus einem Schaumstoff, bestehen. Zwischen jeder der aufeinanderfolgenden Scheiben 8 können z. B. eine oder mehrere ungradzahlige Halbwellen des Faserlichtleiters 1 liegen. Die Scheiben 8, deren Schlitze bzw. Kerben 9 dem Verlauf des Faserlichtleiters angepaßt auch schräg liegen können, sollen so angeordnet werden, daß die Richtung der Kerben 9 abwechselte. Die Scheibenanordnung in Fig. 5 ist nur eine von mehreren möglichen Varianten. Vorrichtungen zur Aufsteckung von Scheiben auf Drähte sind mehrfach bekannt.

FIG. 1

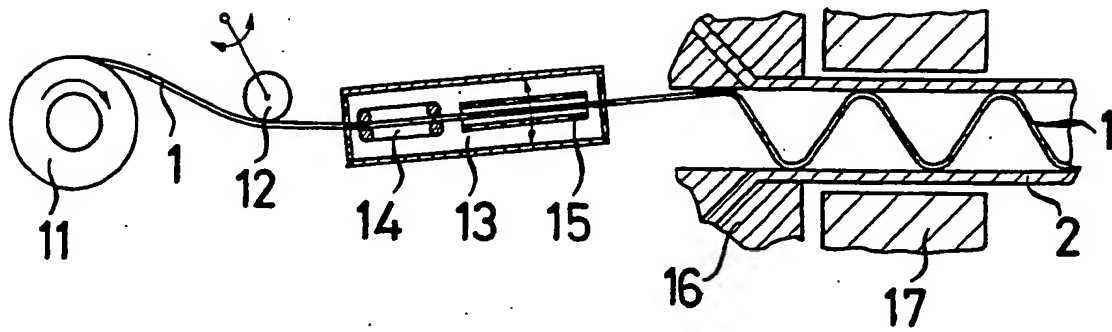


FIG. 2

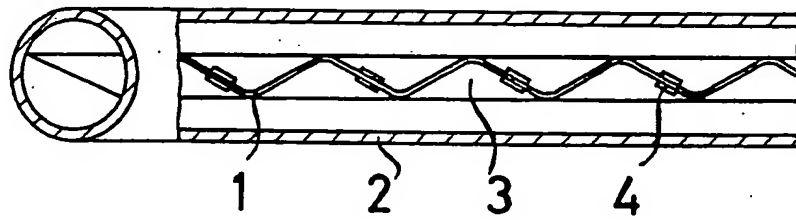


FIG. 3

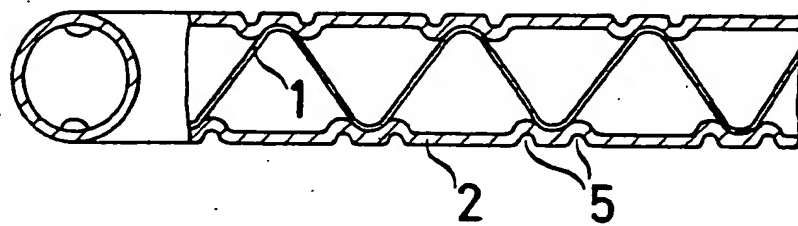


FIG. 4

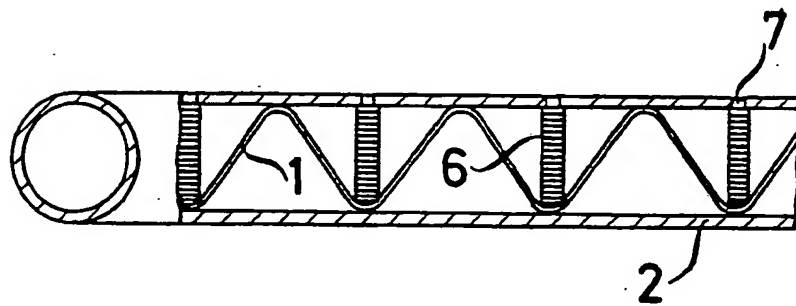
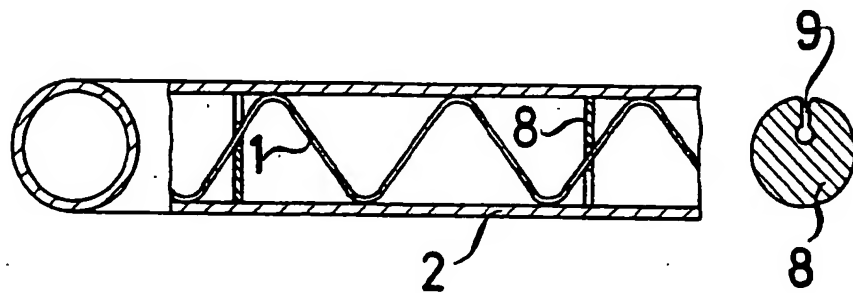


FIG. 5



THIS PAGE BLANK (USPTO)